

並列探索を用いた対話型タブーサーチに関する検討

Performance Evaluation of Parallel Retrieval Interactive Tabu Search

堂前 翔哉^{*1} 竹之内 宏^{*2} 徳丸 正孝^{*2}
 Shoya Domae Hiroshi Takenouchi Masataka Tokumaru

^{*1}関西大学大学院 ^{*2}関西大学
 Graduate School of Kansai University Kansai University

We present a Parallel retrieval Interactive Tabu Search (ITS) algorithm to retrieve candidate solutions using multiple retrieval paths in Interactive Evolutionary Computation (IEC) users' complex sensitivity space. In our previous work, we demonstrated the effectiveness of ITS to reduce the evaluation load of IEC users. However, ITS candidate solutions converge locally because ITS is a local search method. Therefore, we present a Parallel ITS algorithm that retrieves candidate solutions that the user likes and dislikes in parallel in the complex sensitivity space. Parallel ITS evaluation is a solution evaluation in which a user chooses multiple candidate solutions that he/she likes and dislikes from the presented candidate solutions. We perform a numerical simulation with an evaluation agent that imitates human preferences. The simulation results showed that Parallel ITS can retrieve candidate solutions using the multiple retrieval paths in the complex sensitivity space.

1. はじめに

対話型進化計算 (Interactive Evolutionary Computation: IEC) は、解候補の評価を行うために用いられる目的関数を、人間の直感的評価に置き換えた進化計算手法である。このため、定量的な評価を行うことが比較的困難な製品デザインなどの感性評価や、ユーザ個人の主観評価が必要となる製品のカスタマイズなど、人間の好みや主観が考慮されるべき問題に対して有効とされている。IEC の代表的な手法である対話型遺伝的アルゴリズム (Interactive Genetic Algorithm: IGA) を用いたシステムの研究では、Web デザイン、インテリアデザインを生成するシステムなどが提案され、有効性が検証されている [Oliver 02][伴場 05]。これらの研究はいずれも、IEC システムが提示するデザインをユーザが直感的に評価するものであるが、その評価方法は様々である。

IEC においては一般的に、提示される全ての解候補に評価点を付ける評価方法が用いられている。しかし、ユーザは一度に提示される多数の解候補を見比べて、点数をつけたり選択しなければならぬ。そのため、提示された解候補が類似している場合は、評価が困難になるという問題がある。

この問題を解決するため、著者らは先行研究において、IEC の進化計算アルゴリズムにタブーサーチ (Tabu Search: TS) を用いた対話型タブーサーチ (Interactive Tabu Search: ITS) を提案している [Takenouchi 13]。ITS において、ユーザは一度の評価で提示解候補から最も好みの解候補を 1 つ選択する。ITS は、ユーザが解候補を 5 段階や 10 段階で評価する方法と比べて単純な評価手法であり、評価エージェントを用いた数値シミュレーション及び実ユーザを対象とした評価実験において、ユーザの解評価負担軽減の有効性が示されている [Takenouchi 13]。選択された解候補の近傍を探索するため、解集団が局所的に収束する。そのため、ユーザは提示解候補に好みのものが存在しない場合、それらの中から最も好みの解候補を 1 つ選択しなければならない。また、選択された解候補の近傍解を提示するた

め、次世代ではユーザが選択した解候補と類似した解候補が多く提示される。その結果、ユーザの評価に対するモチベーションが低下し評価負担が大きくなると考えられる。

そこで本研究では、ITS の問題を解決するため、解空間を並列に探索する並列 ITS を提案する。並列 ITS では、ユーザが提示解候補から好みの解候補と好みでない解候補を複数選択する。そして、選択された解候補から複数の探索経路が生成される。並列 ITS では、複数の TS の探索経路を並列に処理することにより、広い範囲を探索することができると考えられる。そのため、探索範囲が局所的に集中することを防ぐことができる。さらに、ユーザが提示解候補から好みの解候補と好みでない解候補を複数選択するため、ユーザの好みの領域と好みでない領域の両方を探索できる。

本研究では、解を定量的に評価し並列 ITS の有効性を検証するために、実ユーザの代わりにビット列で作成された評価エージェントを用いた数値シミュレーションを行う。

2. 並列 ITS

2.1 並列 ITS の概要

本研究では、ITS の問題を解決するために並列 ITS を提案する。並列 ITS では、ユーザは提示解候補から好みの解候補と好みでない解候補を複数選択する。このとき、ユーザが選択しなかった解候補をどちらでもない解候補とする。そして、好みの解候補と好みでない解候補の両方の近傍を TS で探索し、複数の探索経路を生成する。複数の TS 探索経路を並列に処理することで、解候補を多峰的に探索することができる。さらに、並列 ITS ではユーザが好みの解候補と好みでない解候補を選択するため、解空間上でユーザの好みの領域と好みでない領域の両方を探索できる。また、TS 探索経路の数が増加すると広い探索、減少すると局所的に探索することができると考えられる。

2.2 並列 ITS のアルゴリズム

並列 ITS のアルゴリズムについて述べる。図 1 に並列 ITS の流れを示す。

(1) 初期解候補の生成 (1 世代目)

初期解候補をランダムに生成する。

(2) ユーザによる評価 (1 世代目)

初期解候補をユーザに提示して好みの解候補と好みでない解候補を複数選択してもらう。このとき、選択されない解候補はどちらでもない解候補とする。

(3) 探索経路と近傍解候補の生成 (1 世代目)

ユーザが選択した解候補から TS 探索経路を生成する。ユーザが好みと選択した解候補からの探索経路は、PTS(Positive Tabu Search) とする。また、ユーザが好みでないと選択した解候補からの探索経路は、NTS(Negative Tabu Search) とする。図 1 において、ユーザが初期解候補から好みの解候補を 4 個選択したとき、PTS1, PTS2, PTS3, PTS4 が生成される。そして、PTS と NTS の解候補から近傍解候補をそれぞれ生成する。また、ランダムに解候補を生成し、近傍解候補と合わせてユーザに提示する。

(4) ユーザによる評価 (2 世代目以降)

1 世代目と同様に、全ての近傍解候補をユーザに提示して好みの解候補と好みでない解候補を複数選択してもらう。このとき、選択されない解候補はどちらでもない解候補とする。

(5) タブーリストの更新

ユーザが選択した解候補のビット列をタブーリストに追加する。このとき、各 PTS と各 NTS から複数の解候補が選択された場合は、それぞれの中からランダムに選択された解候補 1 つがタブーリストに追加される。

(6) 探索経路と近傍解候補の生成

各探索経路から生成された解候補がユーザに提示される。そして、ユーザが選択した解候補の個数を各探索経路の評価値とし、評価値に応じて各探索経路から生成する解候補数を決定する。評価値が 0 の場合、すなわち探索経路から生成された近傍解候補から 1 個も選択されなかった場合は、その探索経路はその世代で探索を停止する。1 個以上選択された探索経路の評価値に関して、PTS から生成される解候補数は式 (1)、NTS から生成される解候補数は式 (2) で表される。

$$PM_i = PM_{max} \frac{pf_i}{pf_{max}} \quad (1)$$

$$NM_i = NM_{max} \frac{nf_i}{nf_{max}} \quad (2)$$

式 (1) において、 PM_i は i 番目の PTS から生成される近傍解候補、 PM_{max} は生成する近傍解候補の最大数、 pf_i は i 番目の PTS の評価値、 pf_{max} は全 PTS 中の最大評価値である。式 (2) において、 NM_i は i 番目の NTS から生成される近傍解候補、 NM_{max} は生成する近傍解候補の最大数、 nf_i は i 番目の NTS の評価値、 nf_{max} は全 NTS 中の最大評価値である。並列 ITS では、 PM_{max} は 8、 NM_{max} は 4 とする。図 1 より、ユーザが好みと判断した解候補数に応じて近傍解候補が生成されている。さらに、ユーザが PTS から生成される近傍解候補やランダムに生成される解候補を好みでない解候補として選択した場合は、選択された解候補から新たに NTS5 を生成し、近傍解候補を生成する。また、ユーザが好みでないと判断した解候補

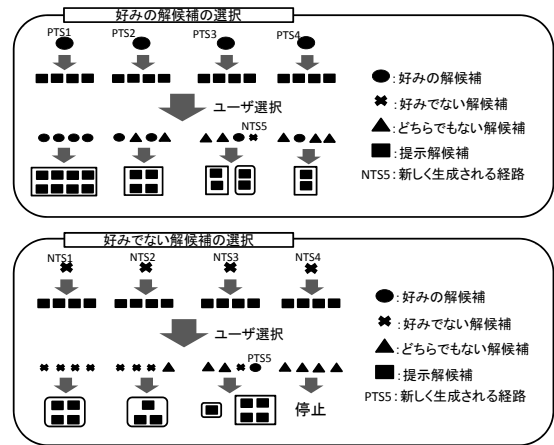


図 1: 並列 ITS の流れ

数に応じて近傍解候補が生成されている。さらに、ユーザが NTS から生成される近傍解候補やランダムに生成される解候補を好みの解候補として選択した場合は、選択された解候補から新たに PTS5 を生成し、近傍解候補を生成する。そして、ランダムに解候補を生成し、近傍解候補と合わせてユーザに提示する。

(7) 探索経路の再探索

PTS と NTS で探索経路がそれぞれ 1 本になったときに、停止していた探索経路の解候補を再度提示する。再探索では、その世代で停止していた探索経路をすべて再探索させる。

(8) タブーリストの中からユーザに提示

ユーザが解評価を終了する際には、各探索経路のタブーリスト中の解候補を好みの解候補と好みでない解候補に分けて表示する。

(4)~(7) の処理を最終世代まで繰り返す。最終世代の評価が終了した後に (8) の処理を行う。

3. シミュレーション

3.1 シミュレーション概要

本研究では、実ユーザの代わりにビット列で作成された評価エージェントを用いた数値シミュレーションを行い、解を定量的に評価し並列 ITS の有効性を検証する。

本シミュレーションでは、表 1 のパラメータを用いる。実ユーザは提示解候補を絶対的に、または相対的に評価する可能性がある。したがって、ユーザが「好み」と選択する解候補は、提示解候補を評価値の高い順で並べたときの上位 20% と評価値 0.8 以上の解候補、「好みでない」と選択する解候補は、下位 20% と評価値 0.3 以下の解候補とする。

また、初期世代の探索経路から生成される近傍解候補数は、PTS では 4 個、NTS では 2 個とする。2 世代目以降の探索経路から生成される近傍解候補数は、PTS では式 (1)、NTS では式 (2) を用いて生成する。そして、探索経路が新たに生成されるとき及び再探索するときは、PTS では 4 個、NTS では 2 個の近傍解候補を生成する。

本シミュレーションでは、提示解候補数、「好み」、「好みでない」、「どちらでもない」の 3 つの領域の進化性能、TS 探索経路の増減の様子について検証する。

表 1: 並列 ITS のシミュレーションパラメータ

遺伝子列	ビット列
遺伝子長	20, 30, 40, 50bits
シミュレーション試行回数	100
世代交代数	50
初期解候補数	20
ランダムに生成される解候補数	4
解候補の評価値	0.1~1.0 で正規化
タブーリストサイズ	8
近傍解候補生成範囲	1bit

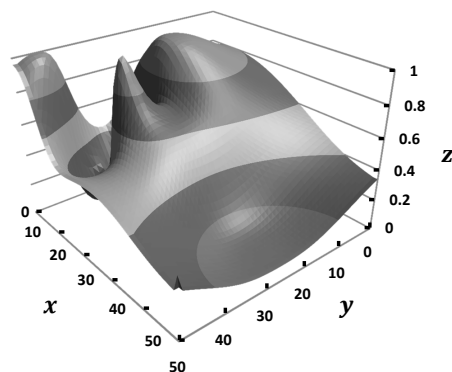


図 2: 多峰性感性空間の可視化の一例

3.2 評価エージェントによる解評価

実ユーザにおいて、衣服のデザインや配色などに対する嗜好は、解空間内の特定の一点のみでなく複数の異なる嗜好を有していると考えられる。したがって、実ユーザの評価特性は、ある程度の複雑さを有する評価尺度であると考えられる。このような評価を「多峰性感性空間における評価」とする。

本シミュレーションでは、実ユーザに近い解候補評価を再現するため、多峰性感性空間を有する評価エージェントを用いる。図 2 に、多峰性感性空間の一例を示す。図 2 において、谷の部分はユーザの嗜好が弱い部分を表しており、山の部分はユーザの嗜好が強い部分を表している。また、ビットパターンで構成されるユーザの好みの領域 3 個、好みでない領域 3 個を用いて生成されている。

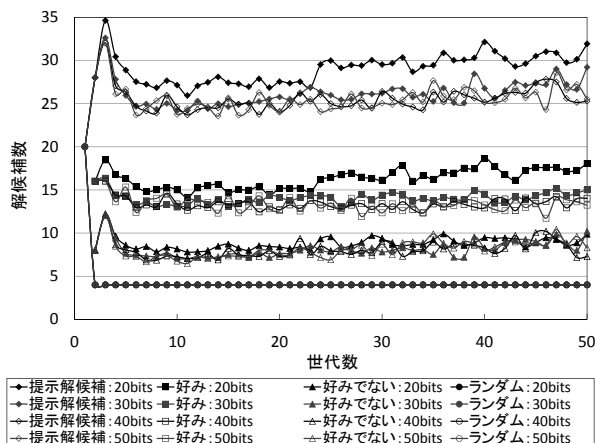


図 3: 提示解候補数の結果

4. シミュレーション結果

4.1 提示解候補数

図 3 に提示解候補数の結果を示す。図 3 より、遺伝子長が長くなると、提示解候補数が減少していることが確認された。また、いずれの遺伝子長においても、提示解候補数が 35 個以下であることが確認された。

通常の IEC では、提示解候補数は 10~20 個程度である。並列 ITS では、通常の IEC と比べると提示解候補が多い結果となった。しかし、並列 ITS ではユーザは提示された解候補に対して好みか好みでないかの単純な評価を行う。そのため、ユーザの解評価負担は軽減できると考えられる。

4.2 3つの領域の進化性能

図 4 に「好み」、「好みでない」、「どちらでもない」の3つの領域の進化性能の結果を示す。図 4 より、遺伝子長が長くなると、3つの領域の進化性能は低下することが確認された。しかし、いずれの遺伝子長においても、「好み」の進化性能は評価値 0.8 以上、「好みでない」の進化性能は評価値 0.3 以下、「どちらでもない」の進化性能は評価値 0.6~0.7 を得られた。これらの結果から、「好み」、「好みでない」、「どちらでもない」の3つの領域を探索できていることが確認された。

並列 ITS は、ユーザに提示解候補から好みの解候補と好みでない解候補を複数選択してもらうため、3つの領域を探索できたと考えられる。3つの領域に関して探索可能であることが確認されたため、次に各領域の探索の様子を示す。

4.3 TS 探索経路の増減の様子

本シミュレーションの評価エージェントは、多峰性感性空間を有する。そのため、並列 ITS においてユーザの嗜好に合った解候補を提示するためには、好みの領域と好みでない領域それぞれにおいて多峰的に探索できることが求められる。

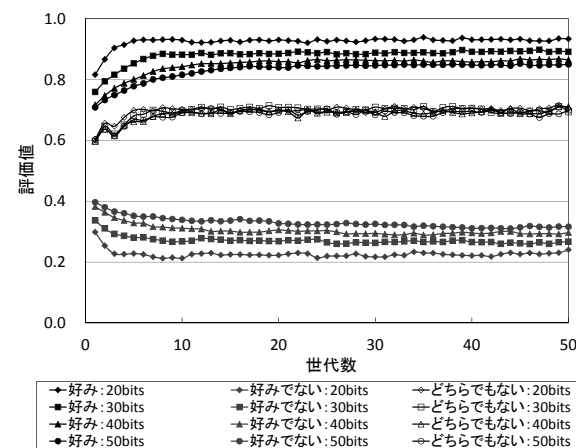


図 4: 進化性能の結果

本シミュレーションでは、このような多峰的な探索ができていのかを確認するため、多峰性感性空間生成時にランダムに設定した重み付けビットパターンを目標ビットパターンとしてそれらの近傍を探索できているかを調査する。ランダムに設定した重み付けビットパターンは、好みの領域に関しては A, B, C, 好みでない領域に関しては D, E, F とする。好みの領域 A, B, C の重みの値は 1.0 であり、好みでない領域 D, E, F は 0.1 である。

まず、各 PTS 及び NTS から生成される解候補のビットパ

表 2: 解候補の評価値の結果 (類似度:70%以上)

遺伝子長	好みの領域			好みでない領域		
	A	B	C	D	E	F
20bits	0.81	0.81	0.82	0.32	0.33	0.33
30bits	0.81	0.81	0.81	0.32	0.32	0.32
40bits	0.80	0.80	0.81	0.32	0.33	0.32
50bits	0.79	0.78	0.80	0.33	0.33	0.34

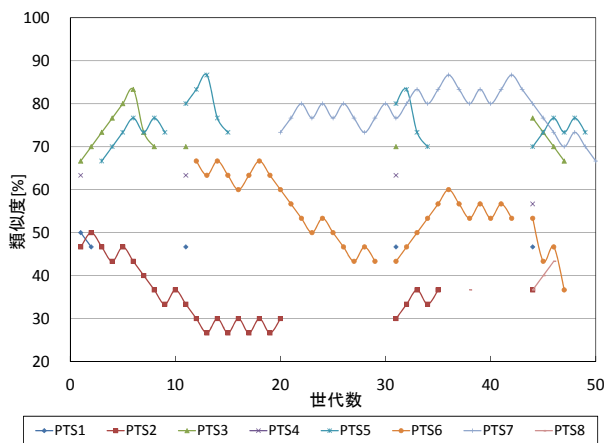


図 5: TS 探索経路の増減の様子の結果 (30bits, 好みの領域 A)

ターンと重み付けされたビットパターンとの類似度及び評価値の関係を調査する。類似度は、 h をハミング距離、 l を遺伝子長とすると、 $(l-h)/l \times 100$ で表される。また、類似度は重み付けされたビットパターンと、探索経路から生成される近傍解候補のビットパターンを比較した最良値である。

表 2 に各探索経路から生成される解候補のビットパターンと重み付けされたビットパターンとの類似度が 70%以上のときの評価値を示す。表 2 より、類似度が 70%以上であれば好みの領域の評価値は約 0.8 以上、好みでない領域の評価値は約 0.3 以下となることが確認された。したがって、並列 ITS は類似度が 70%以上であれば、ユーザの好みの領域と好みでない領域における重み付けビットパターンの近傍を探索できているといえる。

図 5, 6 に TS 探索経路の増減の様子の結果を示す。図 5, 6 より、並列 ITS は、複数の探索経路が存在し並列に解候補を探索していることが確認された。また、50 世代探索する間に目標ビットパターンとの類似度が 70%を超える TS 経路は、いずれの遺伝子長、目標ビットパターンに対しても複数個あることが確認された。

表 3 に探索された重み付けビットパターン数の結果を示す。ここで、重み付けビットパターンが探索されたとする条件は類似度が 70%以上になったときとしている。表 3 より、いずれの遺伝子長においても好みの領域と好みでない領域の両方で、3 個中 2 個以上の目標ビットパターンの近傍を探索できていることが確認された。並列 ITS は、ユーザの解候補評価において好みの解候補と好みでない解候補が複数選択され、複数の TS 経路が生成されるため、好みの領域と好みでない領域の両方で 2 個以上探索できたと考えられる。

並列 ITS では、ユーザは好みの解候補と好みでない解候補を複数選択する。そのため、好みの解候補と好みでない解候補の両方を多峰的に探索できることが確認された。また、好みの解候補と好みでない解候補は複数選択されるため、各領域内に

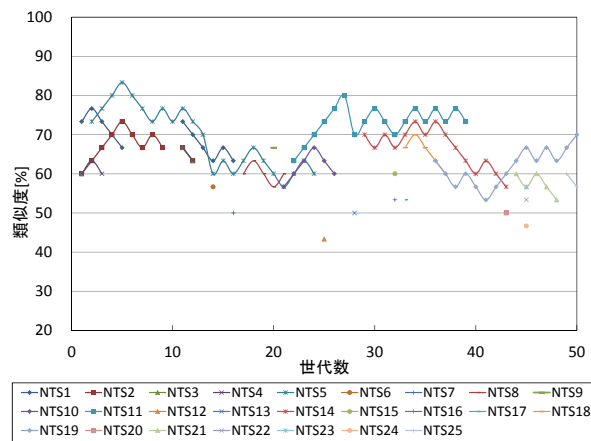


図 6: TS 探索経路の増減の様子の結果 (30bits, 好みでない領域 D)

表 3: 探索された重み付けビットパターン数の結果

遺伝子長	好みの領域	好みでない領域
20bits	3.00	3.00
30bits	2.90	2.99
40bits	2.71	2.86
50bits	2.32	2.45

においても複数の探索経路が生成され多峰的に探索されていることが確認された。したがって、並列 ITS は多峰性感性空間の並列探索に有効であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、複数の探索経路を用いて多峰的に探索することを目的とした並列 ITS を提案した。実ユーザの代わりに評価エージェントを用いた数値シミュレーションにおいて、並列 ITS は多峰的な探索ができることが確認された。今後は、並列 ITS を用いた評価インタフェースを作成し、実ユーザの評価実験を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は 文部科学省の科研費 (24500264) の助成を受けたものである。

参考文献

- [Oliver 02] A.Oliver, N.Monmarche and G.Venturni, "INTERACTIVE DESIGN OF WEB SITES WITH A GENETIC ALGORITHM," Proceedings of the IADIS International Conference WWW/Internet, pp355-362, 2002.
- [伴場 05] 伴場裕介, 小谷淳司, 萩原将文, "評価エージェントを用いた対話型進化計算手法によるインタレリアウト支援システム," 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.11, pp.2804-2813, 2005.
- [Takenouchi 13] H.Takenouchi, M.Tokumar and N.Muranaka, "Interactive Evolutionary Computation Using a Tabu Search Algorithm," IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol.E96-D, No.3, pp.673-680, 2013.